



**ГИНЗБУРГ Матвей Яковлевич**

Заместитель генерального директора ООО «РИТЭК-ИТЦ»

**ПАВЛЕНКО Владимир Иванович**

Генеральный директор ООО «РИТЭК-ИТЦ», к.т.н.



# ФАКТОРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЭЦН ПРИ ЗАМЕНЕ В НИХ ПЭД НА ВЭД

Приводы на основе вентильных электродвигателей (ВЭД), разработанные специалистами ООО «РИТЭК-ИТЦ», уже прочно вошли в перечень оборудования, которое используется нефтяниками для повышения эффективности добычи нефти. По состоянию на начало июня 2010 года насосные установки с двигателями конструкции и производства ООО «РИТЭК-ИТЦ» эксплуатировались более чем в 1100 скважинах. Высокая энергоэффективность вентильных приводов определяется не только их энергетическими характеристиками, но и возможностью эффективного применения различных режимов отборов продукции скважин (см. «Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД»).

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЬНЫХ И АСИНХРОННЫХ ПРИВодОВ УЭЦН

Высокая энергоэффективность вентильных электродвигателей определяется изначально заложенной в конструкцию их роторов высококоэрцитивных постоянных магнитов из сплавов редкоземельных металлов с высокими удельными показателями энергии. Поэтому в них нет соответствующих потерь, которые есть в короткозамкнутой обмотке роторов асинхронных электродвигателей, в связи с чем КПД вентильных электродвигателей выше КПД асинхронных электродвигателей.

Сравнительные испытания проводились на двигателях ВД32-117 со станцией управления «РИТЭК-03» и ПЭД32-117 без регулирования частоты вращения и со станцией управления «Электрон-05» с преобразователями частоты (ПЧ) без фильтров (см. «Энергетические показатели вентильных и асинхронных приводов по результатам испытаний на стенде СИУ-160»).

Как видно из приведенных данных, КПД вентильных двигателей и приводов на их основе выше КПД приводов с асинхронными двигателями, а значения рабочих токов – ниже.

### Энергетические показатели вентильных и асинхронных приводов по результатам испытаний на стенде СИУ-160

Показатель	Тип привода		
	Вентильный	Асинхронный	
		ПЭД32-117	ПЭД32-117+ ПЧ
Номинальная мощность, кВт	32	32	32
Номинальное напряжение, В	1050	1000	1000
Ток, А:			
- номинальный	20,6	26,6	28,3
- холостого хода	2,0	10,4	11,2
КПД, %:			
- двигателя $\eta_d$	91,0	83,4	82,1
- станции управления $\eta_{cy}$	96,4	100	96,5
- трансформатора ТМП $\eta_{тр}$	98,2	98,2	97,9
- привода $\eta_{пр}$	86,1	81,9	77,6

При замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД потери в кабельной линии, пропорциональные действующему значению тока во второй степени, также снижаются (см. «Относительные величины токов в кабельной линии при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД»).

### Относительные величины токов в кабельной линии при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД

Ток	Тип двигателя и привода		
	ВЭД	ПЭД	ПЭД+ПЧ
I	1	1,29	1,37
I <sup>2</sup>	1	1,66	1,88

**Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД**

Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления	Расчетная формула	Графическое отображение энергетических параметров
--	-------------------	---

Снижение энергопотребления за счет высоких энергетических показателей

<p>Высокий КПД двигателя</p>	$P_d = \frac{N_n}{\eta_d},$ <p>где <math>P_d</math> – мощность, потребляемая двигателем; <math>N_n</math> – мощность, потребляемая насосом; <math>\eta_d</math> – КПД двигателя</p>	<p>КПД, <math>\eta_d</math></p> <p>ВЭД, ВЭД+СУ, ПЭД, ПЭД+СУ с ПЧ</p> <p>0,25 0,5 0,75 1,0</p> <p><math>\frac{P_\phi}{P_n}</math></p>
------------------------------	---	--

<p>Более низкие значения рабочих токов двигателей, обеспечивающие снижение потерь в кабельных линиях УЭЦН и УЭВН</p>	$\Delta P_d = 3 \cdot 10^{-3} \cdot I_\phi^2 \cdot R_\phi,$ <p>где <math>\Delta P_d</math> – потери мощности в кабельной линии; <math>I_\phi</math> – ток электродвигателя; <math>R_\phi</math> – сопротивление фазы кабельной линии</p>	<p>Ток, I</p> <p>ПЭД, ВД</p> <p>0,25 0,5 0,75 1,0</p> <p><math>\frac{P_\phi}{P_n}</math></p>
--	--	--

Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД

Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления	Расчетная формула	Графическое отображение энергетических параметров
Снижение энергопотребления за счет применяемой технологии		
<p>Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения взамен дросселирования</p>	$N_{оф} = N_n \cdot \left( \frac{n_{ф}}{2910} \right)^3,$ <p>где <math>N_{оф}</math> – потребляемая насосом мощность при изменении частоты его вращения; <math>N_n</math> – мощность, потребляемая насосом при номинальной частоте вращения; <math>n_{ф}</math> – фактическая частота вращения; 2910 – номинальная частота вращения</p>	
<p>Метод циклических отборов с использованием в составе УЭЦН насосов с большими подачами и более высокими КПД</p>	$N_n = \frac{N_{н.п} \cdot K_{п.л}}{\eta_n},$ <p>где <math>N_n</math> – потребляемая насосом мощность; <math>N_{н.п}</math> – полезная мощность насоса; <math>K_{п.л}</math> – коэффициент потерь в линии; <math>\eta_n</math> – КПД насоса</p>	

Распределение скважин, эксплуатируемых УЭЦН с ВЭД, по диапазонам регулирования частот вращения														
Показатель	Частота вращения n, об/мин													
	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500
Распределение скважин по диапазонам регулирования частот вращения, %	1,6	3,0	3,8	12,6	7,2	9,2	35,0	14,0	7,6	2,4	1,6	1,2	0,6	0,2
	72,4							14	13,6					
Средневзвешенная частота вращения, об/мин	2750													

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Корректировки режима отбора продукции скважин определяются необходимостью компенсации неточностей, которые имеют место при использовании самых совершенных программ подбора оборудования. Регулирование подачи насоса может проводиться установкой штуцера с заданным диаметром отверстия или регулированием частоты вращения. Последний способ с точки зрения энергетики более эффективен. Поэтому в последние годы существенно увеличиваются объемы применения в составе УЭЦН станций управления с ПЧ, обеспечивающих возможность регулирования частоты вращения ПЭД.

Возможность регулирования частоты вращения обеспечивает и вентильный электродвигатель, который в отличие от асинхронного с ПЧ обладает универсальной эффективностью, обеспечивающей не только более высокие КПД, но и более высокий ресурс двигателя и всей установки.

При выборе типа регулируемого привода (ВЭД или ПЭД с ПЧ) необходимо учитывать, что КПД асинхронных электродвигателей при их работе с ПЧ снижаются относительно их номинальных значений при работе непосредственно от сети.

В рекомендациях стандарта Международной электротехнической комиссии IEC/TS 60034-17(2006) «Машины электрические вращающиеся. Часть 17. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором при питании от преобразователей. Руководство по применению» указывается, что необходимо предусматривать дополнительные потери в двигателе, вызванные наличием гармоник в напряжении и токе, которые в двигателях средней мощности могут достигать 20%.

Снижение КПД ПЭД при работе с ПЧ подтверждено результатами испытаний на стенде: при частоте 50 Гц КПД ПЭД32 с ПЧ оказался ниже КПД этого же двигателя, работающего при той же частоте, но от

сети (82,1 и 83,4% соответственно). Таким образом, потери мощности при регулировании частоты вращения ПЭД с ПЧ выше соответствующих потерь при регулировании частоты вращения вентильного электродвигателя. Помимо снижения КПД асинхронного ПЭД с ПЧ увеличился и его ток с 26,6 до 28,3 А, что связано с наличием высших гармоник.

Большинство выпускаемых в настоящее время в России станций управления с ПЧ не имеют встроенных выходных фильтров, поэтому искажения синусоидальности кривой напряжения превышают допустимые значения. Нефтяники сформулировали требования по допустимой величине искажения, которые будут учтены в разрабатываемом стандарте на УЭЦН. Пока многие из них мирятся с искажениями, так как не готовы платить за фильтры. При использовании в комплекте со станцией управления выходного фильтра КПД двигателя ПЭД с ПЧ может возрасти, однако появятся дополнительные потери мощности в фильтре.

При эксплуатации УЭЦН с ВЭД возможность регулирования частоты вращения используется в 86% скважин, из них 72,4% работают при частотах ниже номинальной и 13,6% – выше (см. «Распределение скважин, эксплуатируемых УЭЦН с ВЭД, по диапазонам регулирования частот вращения»). Конечно, такое распределение скважин по частотам вращения УЭЦН не является постоянным. Приведенные цифры отражают состояние на дату учета. Однако средневзвешенная частота вращения насосов в 2750 об/мин соответствует средним значениям фактической частоты вращения УЭЦН с ВЭД. При этой частоте вращения потребляемая насосом мощность снижается на 15,5%. Именно эту цифру рекомендуется учитывать при проведении предварительных расчетов снижения энергопотребления от замены в УЭЦН ПЭД на ВЭД.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ УЭЦН В ЦИКЛИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Принято считать, что периодический способ эксплуатации скважин – это вынужденная технология,



которую не следует применять, если есть возможность эксплуатации скважин в непрерывном режиме. Сегодня это положение не столь категорично. Появились так называемые «повторно-кратковременный метод эксплуатации УЭЦН» и «метод циклических отборов», которые, по сути, остаются методами периодической эксплуатации. И применяемые в рамках этих методов режимы отбора продукции скважин позволяют для определенной их категории повысить эффективность добычи, в том числе снизить энергопотребление.

Ранее периодический метод считался неэффективным не только в связи с меньшим отбором продукции скважин, чем при непрерывной добыче, но и в связи со снижением ресурса ПЭД и кабеля из-за многократных запусков при больших значениях пусковых токов, а также динамических нагрузок на узлы соединения подземного оборудования УЭЦН.

С появлением станций управления с плавным запуском и возможностью регулирования частоты вращения эти недостатки перестали быть в технологии периодической эксплуатации определяющими. Однако, поскольку при периодической эксплуатации двигатель работает практически без охлаждения потоком откачиваемой из пласта жидкости, возможен его перегрев и, как следствие, снижение ресурса.

Это положение справедливо при использовании в качестве привода ЭЦН асинхронного электродвигателя ПЭД. При периодической эксплуатации УЭЦН более эффективен вентильный электродвигатель, поскольку он имеет более низкую температуру перегрева обмотки:  $\Delta T_{\text{ВЭД}} = 20 \div 25^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T_{\text{ПЭД}} = 40 \div 45^\circ\text{C}$ . Как известно, ресурс изоляции снижается с повышением температуры эксплуатации. Поэтому вентильные двигатели при периодическом способе эксплуатации имеют более высокий ресурс, чем ПЭД, работающие в аналогичном режиме.

В настоящее время вентильные электродвигатели производства ООО «РИТЭК-ИТЦ» используются в составе УЭЦН, работающих методом циклических отборов в 50 скважинах ОАО «ТНК-Нягань». При

циклическом отборе продукции скважин в составе УЭЦН используется насос с номинальной подачей, в 2 – 3 раза превышающей подачу насоса, который ранее использовался для отбора продукции при непрерывной работе УЭЦН. Снижение энергопотребления при этом достигается за счет более высоких КПД насосов с большими подачами. Эта технология позволила в ОАО «ТНК-Нягань» в два и более раза повысить наработку оборудования УЭЦН и сократить расход электроэнергии на 40 – 60% без снижения добычи.

Как было отмечено, метод циклических отборов не является универсальным методом эффективной эксплуатации. Он может быть использован только в определенной категории скважин. Рост применения этого метода связан с внедрением в нефтяных компаниях программы подбора оборудования и технологии эксплуатации скважин методом циклических отборов, разработанной под руководством д.т.н. Владимира Николаевича Ивановского.

Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД, и ориентировочные значения их показателей представлены в таблице (см. «Снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД»).

**Снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД**

№, п/п	Нефтегазодобывающее предприятие	Снижение энергопотребления, %
1	ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»	10-25
2	ОАО «РИТЭК»	15
3	ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»	24-34
4	ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»	45-60
5	ОАО «Татнефть»	45-48
6	ОАО «ТНК-Нягань»	50-63

<b>Снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД</b>		
<b>Факторы снижения энергопотребления</b>	<b>Показатели, определяющие энергопотребление</b>	<b>Снижение энергопотребления (минимум), %</b>
<b>Непрерывная эксплуатация скважин</b>		
Энергетические показатели ВЭД	Более высокие значения КПД вентильных приводов по сравнению с КПД асинхронного привода	5-6
Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения взамен дросселирования	Снижение потребляемой насосом мощности	12-15
	Снижение потерь мощности в кабельной линии за счет более низких номинальных значений токов ВЭД и дополнительного их снижения при уменьшении подачи насоса благодаря изменению частоты вращения	3-4
<b>Итого, снижение энергопотребления при непрерывной эксплуатации скважин</b>		<b>20-25</b>
<b>Специальная технология</b>		
Метод циклических отборов	Использование в составе УЭЦН насосов с большими подачами и более высокими КПД	25-30
<b>Всего, с учетом использования метода циклических отборов</b>		<b>45-55</b>

### ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЭД В НК «ЛУКОЙЛ»

В 2009 году в четырех основных нефтедобывающих предприятиях компании ОАО «ЛУКОЙЛ» был выполнен анализ энергетической эффективности замены в УЭЦН асинхронных электродвигателей на вентильные. Оценка снижения энергопотребления проводилась путем инструментальных замеров энергопотребления в одних и тех же скважинах до и после замены в УЭЦН и УЭВН серийных асинхронных электродвигателей (без возможности регулирования частоты вращения) на вентильные (см. «Снижение энергопотребления при замене в УЭЦН асин-

хронных электродвигателей ПЭД на ВЭД по компаниям»). Аналогичные замеры проводились в ОАО «Татнефть» и ОАО «ТНК-Нягань», где эксплуатируются вентильные электродвигатели производства ООО «РИТЭК-ИТЦ».

Представленные в таблицах численные показатели снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД в каждом конкретном случае могут быть выше или ниже приведенных цифр. Но энергопотребление УЭЦН с правильно спроектированным ВЭД, управляемым по оптимальной программе, всегда будет ниже энергопотребления УЭЦН с ПЭД, в том числе и с частотным регулятором. ✎